

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-305584

(43)Date of publication of application : 19.11.1993

(51)Int.Cl.

B25J 5/00
B25J 13/08

(21)Application number : 04-137881

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 30.04.1992

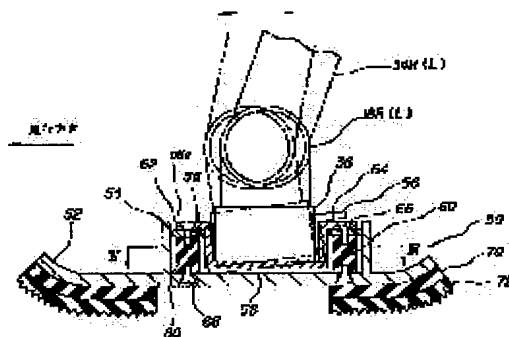
(72)Inventor : TAKENAKA TORU
GOMI HIROSHI

(54) WALKING CONTROL DEVICE FOR LEG TYPE MOBILE ROBOT

(57)Abstract:

PURPOSE: To softly ground a leg type moving robot even when it meets an unexpected unevenness or inclination, enhance the traveling property in the moving environment, and moderate the shock at landing by providing a spring mechanism for connecting each joint part of the robot to the leg part setting end.

CONSTITUTION: A leg part joint 18R is connected to a leg part joint end 52 through a spring mechanism body 50, and the load worked to the leg part joint 18R by the spring mechanism body 50 is detected by a load detecting means 36 arranged near the leg joint part 18R. According to the detected value, the joint 18R provided near the moving grounding end 52 is displaced and controlled by a control means so that the load is a determined value. Thus, the leg part grounding end 52 can be softly grounded on the unevenness or inclination of a floor to enhance the traveling property in the moving environment, and the shock at landing can be reduced. Further, a reduction of the torque expected in a walking pattern can be prevented.



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数本の脚部を有する脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、少なくとも該脚部の接地端付近に設けられた関節とそれを変位制御する制御手段とを備えるものにおいて、

a. 前記脚部関節と脚部接地端とを連結するバネ機構体、及び

b. 前記脚部関節の付近に配置され、前記バネ機構体によって前記関節に作用する荷重を検出する荷重検出手段、

とを備え、前記制御手段は、検出値に応じて荷重を所定の値に制御する様に構成したことを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項2】 前記制御手段は、検出された荷重と目標荷重との差に応じた補正値を前記関節の変位制御値に加える様に構成したことを特徴とする請求項1項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項3】 前記制御手段は、検出された荷重と目標荷重との差に比例する補正値を前記関節の変位制御値に加える様に構成したことを特徴とする請求項1項記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項4】 前記検出手段の後段に高周波数成分を遮断するローパスフィルタを接続する様に構成したことを特徴とする請求項1項ないし3項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【請求項5】 脚式移動ロボットの関節を変位制御して歩行させる脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、該脚部に作用する荷重を検出して変位指令を補正し、該脚部にコンプライアンスを与える様にしたものにおいて、前記検出値のうち、低周波数成分のみを用いて前記変位指令を補正する様に構成したことを特徴とする脚式移動ロボットの歩行制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は脚式移動ロボットの歩行制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、移動ロボットに関する技術としては車輪式、クローラ式、脚式などのロボットが提案されている。その中で、脚式移動ロボットの制御技術に関するものとして、1脚のロボットに関する技術(Raibert, M.H., Brown, Jr.H.B., "Experiments in Balance With a 2D One-Legged Hopping Machine", ASME, J of DSM C, vol.106, pp.75-81 (1984)), 2脚のロボットに関する技術(日本ロボット学会誌vol.1, no.3, pp.167-203, 1983)、4脚のロボットに関する技術(日本ロボット学会誌vol.9, no.5, pp.638-643, 1991)、6脚のロボットに関する技術(Fischetti, M.A., "Robot Do the Dirty Work", IEEE, spectrum, vol.22, no.4, pp.65-72 (1985). Shin-Min Song, Kenneth J. Waldron, "Machines T

hat Walk; The

Adaptive Suspension Vehicle", The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England)が多数提案されている。更には、比較的低自由度のロボットでリアルタイムに力学的に安定な移動(歩行)パターンを生成する技術(下山, "竹馬型2足歩行ロボットの動的歩行", 日本機械学会論文集 C篇, 第48巻, 第 433号, pp.1445-1454, 1982. および"Legged Robots on Rough Terrain; Experiments in Adjusting Step Length", by Jessica Hodgins. IEEE, 1988)や、比較的多自由度のロボットでオフラインで安定な移動(歩行)パターンを生成する技術(特開昭62-97006号、特開昭63-150176号)も提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記したオフラインで安定な移動パターンを生成するものにおいて、脚式移動ロボットが移動する床面は厳密に設計値通りであることは少なく、パターンで予期しない凹凸や傾斜が存在することが多い。その様な凹凸、傾斜に遭遇すると、脚式移動ロボットは予期しない外乱トルクを受けて姿勢が不安定になる恐れがある。これは上記したリアルタイムに移動パターンを生成して歩行する手法を用いるものでも同様であって、外乱トルクは姿勢を崩す一因となる。また着地時には脚部が床と接触して反力を受けるが、その反力が大きいと同様に姿勢の安定性を悪化させる。他方、その様な不都合を解消するために、脚部に柔らかさを与えると、予定した床を蹴る力が不足し、かえって歩行に支障を来すことがある。

【0004】従って、この発明の目的は脚部を床の凹凸や傾斜に柔軟に着地させ、踏破性を高めて外乱トルクを緩和し、また着地時の衝撃も効果的に緩和すると共に、所期の床を蹴る力を確保して歩行に支障を来さない様にした脚式移動ロボットの歩行制御装置を提供することにある。

【0005】更には、脚式移動ロボットの脚部に上記したコンプライアンス(柔らかさ)を与えると、脚部が発振、振動するなどの不都合が生じる恐れがある。

【0006】従って、この発明の第2の目標は脚部にコンプライアンスを与えても脚部が発振、振動することがない様にした脚式移動ロボットの歩行制御装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、複数本の脚部を有する脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、少なくとも該脚部の接地端付近に設けられた関節とそれを変位制御する制御手段とを備えるものにおいて、前記脚部関節と脚部接地端とを連結するバネ機構体、及び、前記脚部関節の付近に配置され、前記バネ機構体によって前記関節に作用する荷重を検出する荷重検出手段

とを備え、前記制御手段は、検出値に応じて荷重を所定の値に制御する様に構成した。尚、ここで「荷重」はトルク（モーメント）と力とを含む意味で使用する。

【0008】

【作用】脚部の関節と脚部接地端との間をバネ機構体で連結することから、脚部先端を床の凹凸や傾斜に柔軟に接地させて移動環境での踏破性を高めることができ、着地時の衝撃も効果的に低減することができる。また荷重を所定の値に制御する様にしたことから、歩行パターンで期待するトルクを減じることもない。更に、荷重変動のうち、高い周波数成分はバネ機構体で吸収することができるので、制御系の応答周波数を余り高くする必要がなく、トルクフィードバック制御の安定性を高めることができる。また床が柔らかくても、バネ機構体と同程度ならば、トルクフィードバック制御系にとっては硬い床においてバネ構造体のバネ性を若干または半分程度下げたことと等価であるから、床の柔らかさの影響を受けにくく、トルクフィードバック制御系の特性が極端に変わることがない。また、アクチュエータ内部摩擦や減速機摩擦の影響を余り受けずに制御することができ、コンプ

【0009】

【実施例】以下、脚式移動ロボットとして2足歩行のロボットを例にとって、この発明の実施例を説明する。図1はそのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該6個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用（ z 軸まわり）の関節10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のロール方向（ x 軸まわり）の関節12R、12L、同ピッチ方向（ y 軸まわり）の関節14R、14L、膝部のピッチ方向の関節16R、16L、足首部のピッチ方向の関節18R、18L、同ロール方向の関節20R、20Lとなっており、その下部には後で述べるバネ機構を備えた足平22R、22Lが取着されると共に、最上位には筐体（上体）24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0010】上記において股関節は関節10R（L）、12R（L）、14R（L）から構成され、また足関節は、関節18R（L）、20R（L）から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク32R、32Lで、膝関節と足関節との間は大腿リンク34R、34Lで連結される。ここで、脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、更にはその出力を倍力する減速機などを備える

が、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1-324218号、特開平3-184782号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0011】図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達される x 、 y 、 z 方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z とその方向まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足平22R（L）の四隅には静電容量型の接地スイッチ38（図1で図示省略）が設けられて、足平の接地の有無を検出する。更に、筐体24には傾斜センサ40が設置され、 $x-z$ 平面内と $y-z$ 平面内の z 軸に対する、即ち、重力方向に対する傾斜角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。更に、図1では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42と、フェール対策用のリミットスイッチ44が設けられる。これらの出力は前記した筐体24内の制御ユニット26に送られる。

【0012】図2ないし図4は足平22R（L）に設けられたバネ機構50の構造を詳細に示す底面図、縦断面図および平面断面図である。足平22R（L）は図示の如く、プレート52からなり、プレート52は大略平面正形状に突設されてそこにガイド部材54が形成される。他方、前記した6軸力センサ36に連続するリンク部位は断面逆 Ω 状のピストン状部材56に固定され、ピストン状部材56はガイド部材54内に z 軸方向に多少の間隙58を有して収容される。ピストン状部材56と足平プレート52との間に硬質ゴムブシュからなる弾性体60が90度間隔で4個配置される。更に、ピストン状部材56のフランジ56aとの間には x 、 y 軸方向に若干の間隙62が形成されると共に、フランジ下部にはプラスチック材からなる摺動体64が、ガイド部材54の壁面に摺動自在に配置される。弾性体60と摺動体64とはビス66を介して足平プレート52とピストン状部材56とに固定される。

【0013】従って、足平22R（L）が路面と接触して図3に示す如く、 y 軸廻りのモーメントを受けたとき、ピストン状部材56は弾性体60を変形させてモーメントが作用する方向に想像線で示す如く前（後）傾し、そのモーメントを吸収する。これは x 軸まわりのモーメントを受けたときも同様である。更に、図4から明らかな如く、ガイド部材54は平面略正形状となっており、 z 軸まわりのモーメントを受けたときはそれに対抗することができる。尚、足平プレート52の下部には第1、第2の弾性体70、72を分散配置し、衝撃緩和と摩擦力を増加させる様にした。足部について上に述べたことをモデル化して示すと、図5の様な

る。

【0014】図6は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器80でデジタル値に変換され、その出力はバス82を介してRAM84に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ86を介してRAM84内に入力されると共に、接地スイッチ38などの出力は波形整形回路88を経て同様にRAM84内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる

第1、第2の演算装置90、92が設けられており、第1の演算装置90はROM94に格納されている関節軌道などの歩行パターンを読み出して目標関節角度（角度指令）と、その角度を実現するのに必要な目標トルク

（トルク指令）とを算出してRAM84に送出する。また第2の演算装置92は後述の如くRAM84からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出し、D/A変換器96とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【0015】続いて、図7を参照しながら、この制御装置の動作を説明する。但し、この発明が足首まわりのコンプライアンス制御に関することから、以下の説明は図5を参照して足関節18、20R(L)に限って行う。

尚、図5においては簡略化のためy軸まわりに足平を揺動させる関節18R(L)のみ図示したが、x軸まわりに足平を揺動させる関節20R(L)についても同様の制御を行う。

【0016】図7を参照して説明すると、電動モータはアンプによって変位制御され、足関節18、20R

(L)の角度は、アンプ入力角度（前記した第1演算装置90で生成した足首角度指令）に一致する様に制御される。またトルク指令の形で、目標とする足首角度指令を実現するのに必要なロボット1の床を蹴る力が与えられる。ここで、足首角度指令に図示の如く、
第1の補正角度=フィードフォワードゲイン×トルク指令
第2の補正角度=-フィードバックゲイン×（検出足首トルク-トルク指令）が加減算される。フィードフォワードゲインは、床を蹴るために必要なトルクによって生じる足平22R(L)に設けたバネ機構50のたわみ分を補正するものである。即ち、前記したバネ機構50を設けて足平に柔らかさを与えたことによって、ロボット1に床を蹴る力が不足することから、バネ機構50の撓み分を見越してそれを補償する様にした。フィードフォワードゲインは、バネ機構50のバネ定数（バネの発生トルク/バネのたわみ角度）をkとすると、理論的には1/kとなる。またフィードバックについて言えば、足首角度指令が平坦な床面を想定しており、実際の床面が図5に示す様に角度 $\Delta\theta f$ を持っていたとすると、足首角度がまだ補正されていない瞬間では足平のバネ機構5

0によって、足首トルク（ $=k \times \Delta\theta f$ 、kは前記したバネ定数）が発生する。発生した足首トルクはトルクセンサ（前記した6軸力センサ36）で検出され、検出した足首トルクとトルク指令との偏差にトルクフィードバックゲインを乗じた補正角度が図示の如く足首角度指令に与えられる。ここで、フィードバック制御の特性を図示の如く-としているところから、補正角度は、足首トルクが検出されると、それを逃げる様に、即ち、例えば足首トルクがロボット1を前傾させる方向に作用するとき、ロボット1を後傾させる方向に作用される。

【0017】上記において、足平22R(L)にバネ機構50を設けたことから、床に予期しない凹凸や傾斜があったとしても足平22R(L)を柔軟に接地させて移動環境での踏破性を高めることができ、着地時の衝撃も低減することができる。また歩行パターンから得られる足首トルク予想値をトルク指令としてフィードフォワード的に与える様にしたので、ロボット1の床を蹴る力が不足することはない。またトルク（モーメント）変動のうち、高い周波数成分はバネ機構50で吸収されるので、制御系の応答周波数をあまり高くする必要がなく、トルクフィードバック制御系の安定度を増すことができる。またアンプ入力角度から足首曲げ角度（足関節角度）までの伝達関数は、アンプのゲインが十分高ければ、電動モータの内部摩擦やハーモニック減速機の摩擦の影響を無視することができ、ほぼ1となる。従って、足首トルクも電動モータの内部摩擦や減速機の摩擦の影響をあまり受けずに制御することができるので、トルク制御精度が高くなる。また床が柔らかい場合は、図7のブロック線図において、バネ機構のバネ定数を小さくしたのと等価である。従って、床の柔らかさがバネ機構と同程度までならば、トルクフィードバック制御系にとってはバネ機構を若干または半分程度まで下げたのと等価であるから、トルクフィードバック制御系の特性が極端に変わることがなく、床の柔らかさの影響を受けにくい。

【0018】図8はこの発明の第2実施例を示す、図7に類似するブロック線図である。第1実施例と相違する点は、コンプライアンス制御系にフィルタ100を挿入したことである。フィルタ100としてローパスフィルタを用い、その伝達関数を $1/(1+TS)$ （但し、Tは時定数）とする。図示の変位制御系が高応答であれば、トルク指令を無視してブロック線図を変形すると、図9のようになる。図9において、（足首角度指令）-（ロボットと床との相対角度（ $\Delta\theta a - \Delta\theta f$ ））から足首トルクまでの伝達関数Gは、数1のようになる。

【0019】

【数1】

$$G = \frac{(TS + 1)}{TS + (K_m K_f + 1)} K_m$$

【0020】数1において、 $K_m K_f > 1$ ならば、上 * 【0021】
記伝達関数は、数2の式に近似される。 * 【数2】

$$G = \frac{(TS + 1)}{K_m K_f + 1} K_m$$

$$= \frac{TK_m}{K_m K_f + 1} S + \frac{K_m}{K_m K_f + 1}$$

【0022】これは、図10に示す様な、ねじりバネとねじりダンパとを並列に組んだ機構と等価である。即ち、コンプライアンス制御系に一時遅れフィルタを挿入することにより、第1実施例の効果に加えて、近似的にアクティブなダンパを作り出すことができ、バネ機構50の振動を速やかに減衰させることができる。

【0023】尚、前記の様な近似を行わずに、厳密にバネ・ダンパ系を形成したい場合には、フィルタの伝達関数を数3式の様に設定する。正確にはローパスフィルタではないが、ほぼ同様の機能を奏する。

【0024】

【数3】

$$\frac{1}{1 + TS} - \frac{1}{K_f K_m}$$

【0025】このとき、伝達関数Gは、厳密には数4式となる。

【0026】

【数4】

$$G = \frac{T}{K_f} S + \frac{1}{K_f}$$

【0027】これは、図11に示す様な機構と等価である。

【0028】第2実施例においては上記の如く構成したので、脚式移動ロボットの脚部に設けられた荷重センサ（6軸力センサ36）を用いたコンプライアンス制御において、ロボット本体と床との間に機械的なダンパが挿入されたことと等価なダンピング効果をフィルタによって得ることができた。これにより倒立振子系での制御を容易にすると共に、遊脚が着地したときの反動に起因する跳びはねも防ぐことができる。更に、ローパスフィルタをコンプライアンス制御のフィードバックループに挿入するため、副次的な効果として、高周波に対するループゲインを下げることができ、コンプライアンス制御系の安定度が高まり、発振を防ぐことができる。またセンサから侵入する高周波ノイズも除去することができる。

【0029】尚、第2実施例で使用するフィルタはデジタルフィルタで構成するが、電気フィルタないしは機械フィルタなどの様なハードウェア手法を用いて構成しても良い。またローパスフィルタの例として伝達特性が1次遅れのものを示したが、2次遅れなど他の種類を用い

ても良い。

【0030】尚、上記において、荷重をトルク（モーメント）を通じて検出したが、力で検出しても良い。また6軸力センサをバネ機構の上に配置したが、バネ機構の下に配置しても良い。

【0031】更に、上記において、歩行パターンとして予め設定しておく場合に適用する例を示したが、それに限られるものではなく、歩行のときリアルタイムに求める様にした技術に適用させても良い。

【0032】更に、上記において、2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって説明してきたが、それに限られるものではなく、3足以上の脚式移動ロボットにも妥当するものである。

【0033】

【発明の効果】請求項1項にあっては、複数本の脚部を有する脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、少なくとも該脚部の接地端付近に設けられた関節とそれを変位制御する制御手段とを備えるものにおいて、前記脚部関節と脚部接地端とを連結するバネ機構体、及び、前記脚部関節の付近に配置され、前記バネ機構体によって前記関節に作用する荷重を検出する荷重検出手段とを備え、前記制御手段は、検出値に応じて荷重を所定の値に制御する様に構成したので、予期しない凹凸、傾斜に遭遇したときも柔軟に接地して移動環境の踏破性を高め、着地時の衝撃を緩和すると共に、目標変位を実現するのに必要な床を蹴る力が不足することがない。更に、荷重変動のうち、高い周波数成分はバネ機構体で吸収されるので、制御系の応答周波数は余り高くする必要がなく、トルクフィードバック制御の安定度が高い。また床の柔らかさの影響を受けにくく、床の硬軟によってトルクフィードバック制御系の特性が極端に変わることがなく、その意味でも移動環境での踏破性が向上する。また、アクチュエータ内部摩擦や減速機摩擦の影響を余り受けずに制御することができ、コンプライアンス制御の精度も向上させることができる。

【0034】請求項2項の装置にあっては、前記制御手段は、検出された荷重と目標荷重との差に応じた補正値を前記関節の変位制御値に加える様に構成したので、前記した効果に加えて、アクチュエータ内部摩擦や減速機摩擦の影響を余り受けずに制御することができ、コンプライアンス制御の精度を向上させることができる。

【0035】請求項3項の装置にあっては、前記制御手

段は、検出された荷重と目標荷重との差に比例する補正値を前記関節の変位制御値に加える様に構成したので、前記した効果に加えて、一層コンプライアンス制御の精度を向上させることができる。

【0036】請求項4項の装置にあっては、前記検出手段の後段に高周波成分を遮断するローパスフィルタを接続する様に構成したので、ダンピング特性を得ることができて上体の揺れが抑制され、かつトルクフィードバック制御の安定性を向上させることができると共に、ノイズカットなどの副次的な効果を得ることができる。

【0037】請求項5にあっては、脚式移動ロボットの関節を変位制御して歩行させる脚式移動ロボットの歩行制御装置であって、該脚部に作用する荷重を検出して変位指令を補正し、該脚部にコンプライアンスを与える様にしたものにおいて、前記検出値のうち、低周波数成分のみを用いて前記変位指令を補正する様に構成したので、ロボット本体と床との間に機械的なダンバが挿入されたのと同じ効果を得ることができて、倒立振子系での近似を容易にすることができ、系の発振や脚部の跳びはねを防止することができると共に、コンプライアンス制御の安定度を増すことができ、また高周波ノイズも除去することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る脚式移動ロボットの歩行制御装置を全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示すロボットの足平の底面図である。

【図3】図2のIII-III線断面図で足平のパネ機構を示す説明図である。

【図4】図3のIV-IV線断面図である。

【図5】図3などに示した足平のパネ機構をモデル化して示す説明図である。

【図6】図1の中の制御ユニットの詳細を示すブロック図である。

10

*【図7】図5に示すモデルについての制御を示すブロック線図である。

【図8】この発明の第2実施例を示す、図7のコンプライアンス制御系にフィルタを挿入した例を示すブロック線図である。

【図9】図8に示すブロック線図のうち、トルク指令を無視してコンプライアンス制御系を簡略化して示すブロック線図である。

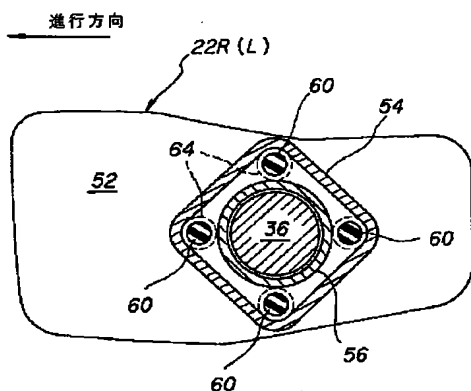
【図10】図9ブロック線図の特徴を示す説明図である。

【図11】図9ブロック線図の特徴を示す説明図である。

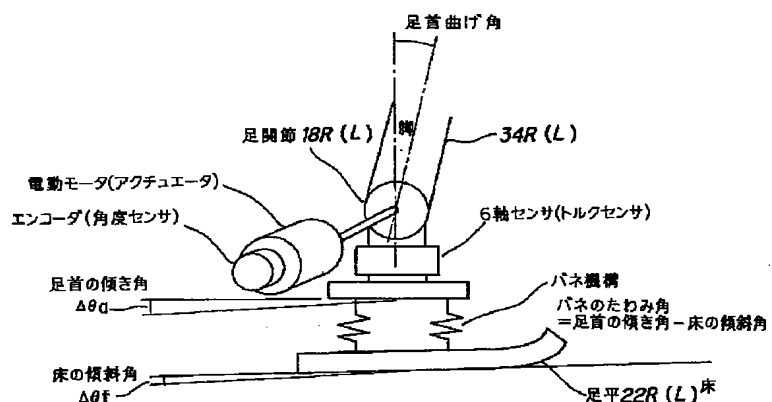
【符号の説明】

1	脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
2	脚部リンク
10 R, 10 L	脚部回旋用の関節
12 R, 12 L	股部のロール方向の関節
14 R, 14 L	股部のピッチ方向の関節
16 R, 16 L	膝部のピッチ方向の関節
18 R, 18 L	足首部のピッチ方向の関節
20 R, 20 L	足首部のロール方向の関節
22 R, 22 L	足平
24	筐体
26	制御ユニット
36	6軸力センサ
50	パネ機構
52	足平プレート
54	ガイド部材
56	ピストン状部材
58, 62	間隙
60	弾性体
64	摺動体

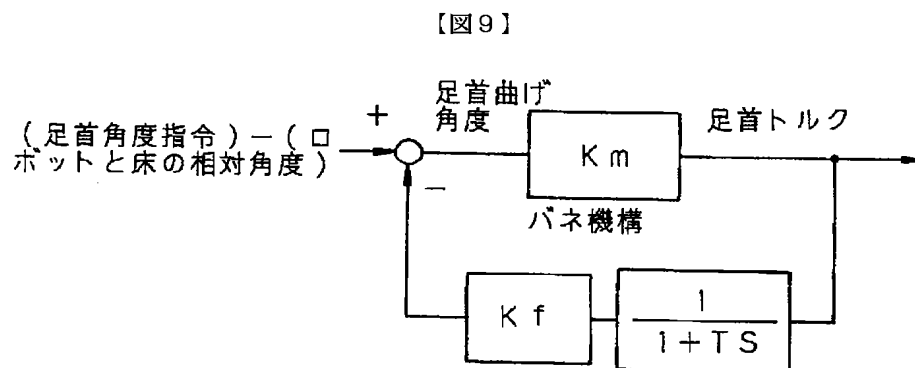
【図4】



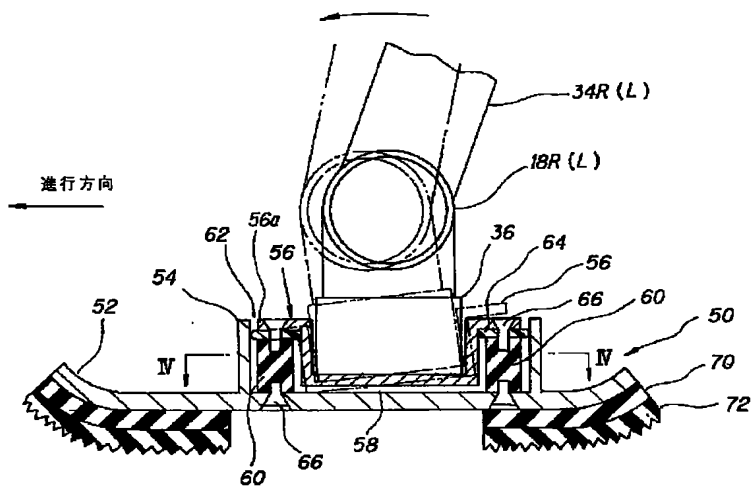
【図5】



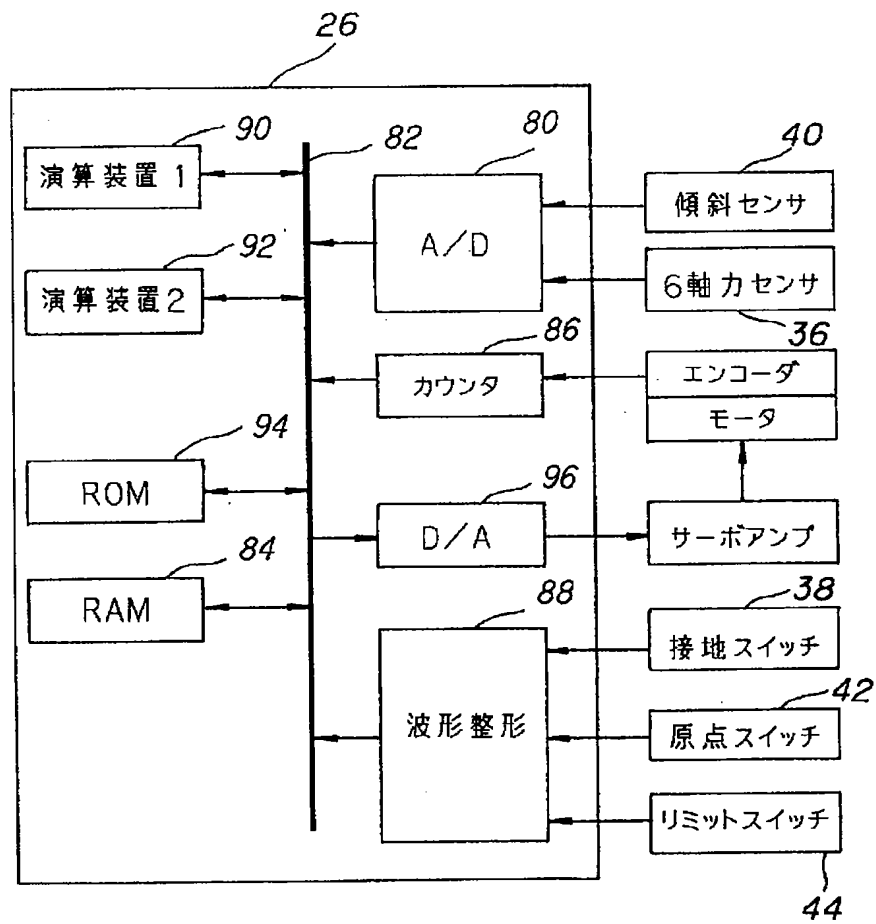
【図2】



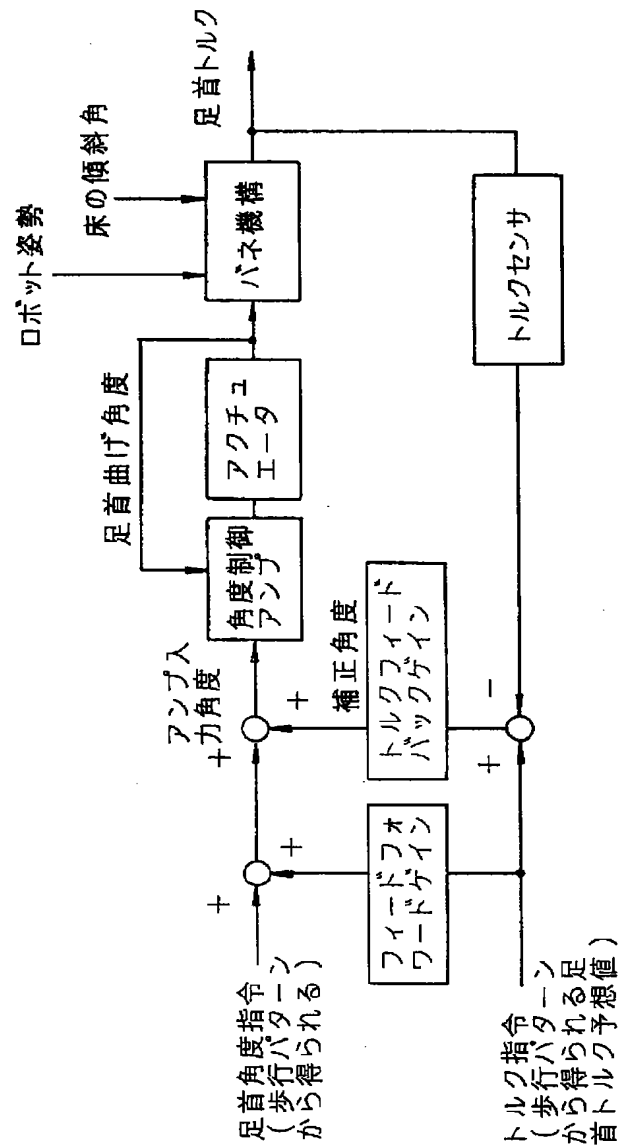
【図3】



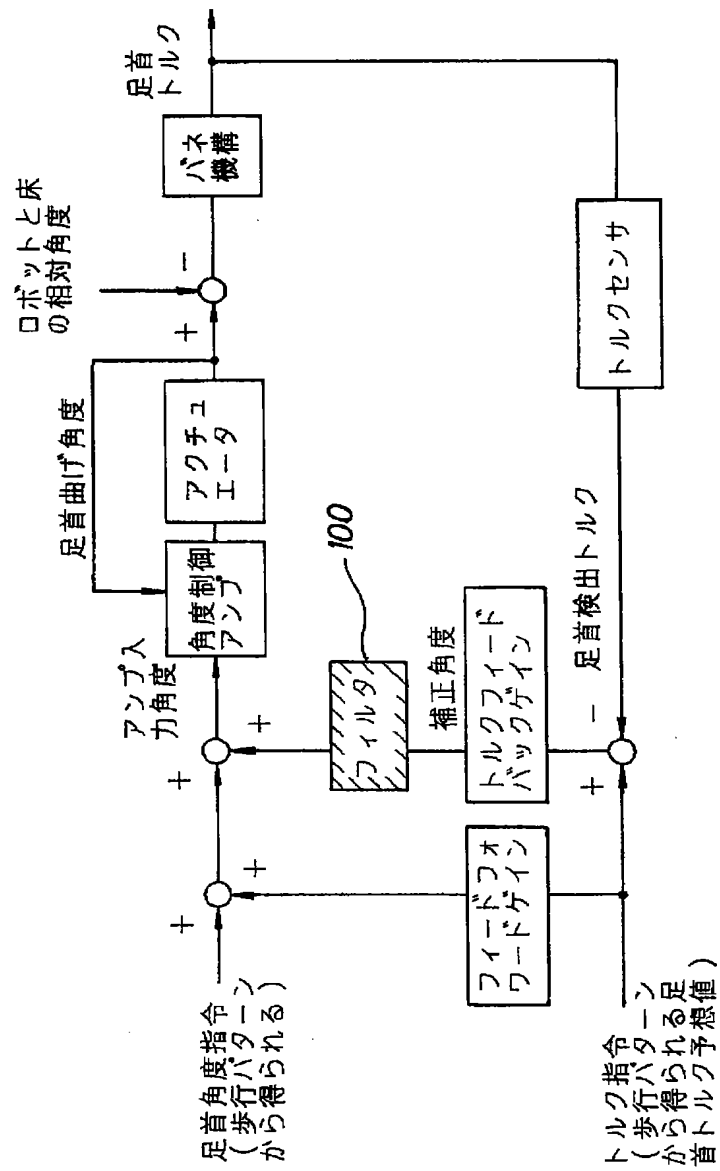
【図6】



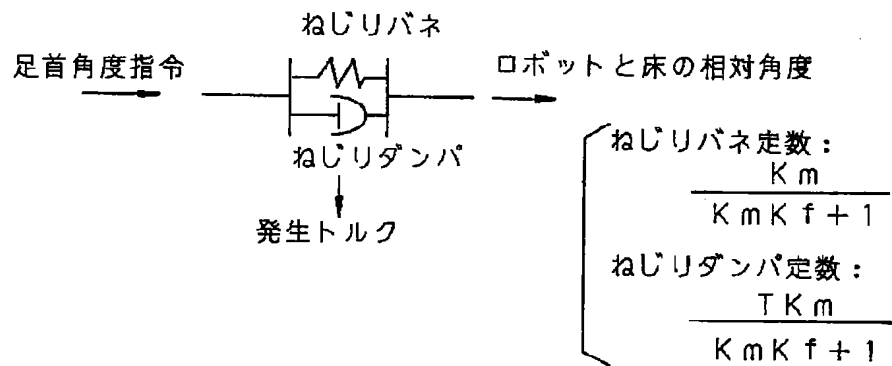
【図7】



【図8】



【図10】



【図11】

